به نام خدا

دانشگاه یزد
دانشکده‌ی فنی-مهندسی
گروه عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
مهندسی عمران- سازه

بررسی تاثیر تقویت دیوار برشی با FRP در تغییر رفتار دیوار برشی از حالت عملکرد مجزا به هم‌بسته

استادان راهنما: دکتر داود مستوفی‌نژاد و دکتر نادر عبدلی

استاد مشاور: دکتر رضا مرشد

پژوهش و نگارش: محمد اصفا

مهر ماه ۱۳۸۹

تقدیم به:

اساتید، دانشجویان و مهندسان عزیز

جویای علم و دانش

و

پدر و مادر عزیزم،

که همراه مشوق من بوده‌اند.

لازم می‌دانم از این فرصت جهت تشکر صمیمانه از راهنمایی‌های ارزنده و پیگیری‌های دلسوزانه‌ی اساتید بزرگوارم جناب آقای **دکتر داود مستوفی نژاد** و **دکتر نادر عبدلی** استفاده نمایم، گرچه این بیان در برابر زحمات ایشان بسیار ناچیر باشد.

همچنین از کلیه اساتید، دوستان و عزیزانی که مرا در طی این مطالعه یاری نمودند، همچنین خانواده‌ام که همواره مشوق من بوده‌اند، **سپاسگذارم.**

چکیده:

در این مطالعه اثر تقویت پلیمر FRP در حالات مختلف و همچنین اثر ابعاد بازشو ، بـر روی ظرفیت باربری و رفتار دیوار برشی بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. برای ایـن منظـور تعـدادی دیوار برشی هم‌بند با ابعاد بازشوهای متفاوت در نظر گرفته شده است. دیوارهای مورد بررسـی بـر اساس ضوابط آیین نامه‌ی ACI-318، از نظر میلگردهای موجود در تیر هم‌بنـد و پایـه‌هـای دیـوار دارای ضعف می‌باشد و این دیوارها نیاز به مقاوم سازی دارند. در ابتدا نحوه‌ی مدل سـازی صـحیح دیوار در نرم افزار ABAQUS با استفاده از نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی بررسـی شـده؛ سـپس بـا اتخاذ شرایط آیین نامه‌ی ACI-318 در وضعیت آرماتورهای دیـوار، رفتـار آن در نـرم افـزار مـورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله‌ی بعد با ارائه‌ی تکنیک‌های جدید تقویت با الیاف FRP، دیوار مقاوم سازی شده و تاثیر این تقویت در افزایش مقاومت و بهبود رفتار دیوار مورد بررسی قرار مـی‌گیـرد. همچنین میزان تاثیر تقویت FRP در کاهش اثرات منفی ناشی از افزایش ابعاد بازشو بررسی شـده است. تاثیر ابعاد بازشو بر روی رفتار دیوار نیز در چند حالت با تغییرات عرض و ارتفاع بازشو مـورد بررسی قرار گرفته است و با حالت بدون وجود بازشو در دیوار و حـالتی کـه بازشـو سـبب جـدایی کامل دو پایه‌ی دیوار شده، مقایسه می‌شود. در کلیه‌ی مراحل دیوارها تحت بار قائم و جانبی قـرار گرفته و افزایش بار جانبی تا زمان گسیختگی ادامه می‌یابد ولی مقدار بار قائم ثابت است.

بر اساس مطالعات انجام شـده در پایـان نامـه‌ی حاضـر، روش‌هـای تقویـت ارائـه شـده (بـا ملاحظات اقتصادی و اجرایی) با استفاده از پلیمر FRP بر روی دیوار تا حـد زیـادی توانـایی رفـع نقاط ضعف دیوارهای مورد نظر و رساندن آن‌ها به شرایط آیین نامه‌های معتبر فعلی را دارا می‌باشد و همچنین ترکیب این روش‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی کاهش اثرات منفی افزایش ابعاد بازشو داشته است.

فهرست مطالب

فصل اول : مروری بر پژوهش‌های گذشته..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۱

۱-۲- برخی از تحقیقات انجام شده..... ۵

فصل دوم: نقش بازشو در رفتار دیوار برشی..... ۱۳

۲-۱- مقدمه..... ۱۳

۲-۲- اهمیت محل بازشوها..... ۱۴

۲-۳- تاثیر نسبت ابعاد بازشو بر روی رفتار دیوارهای برشی (بر اساس مطالعات کاکیش و همکاران)..... ۱۵

۲-۴- دیوارهای برشی همبسته..... ۱۷

۲-۵- تاثیر تیر همبسته در عملکرد دیوار..... ۱۸

۲-۶- رفتار غیرارتجاعی دیوار برشی همبسته و مودهای شکست..... ۲۲

۲-۷- انواع گسیختگی..... ۲۲

۲-۷-۱- گسیختگی ناشی از شکست خود دیوارهای برشی..... ۲۲

۲-۷-۲- گسیختگی ناشی از شکست تیرهای همبند..... ۲۴

۲-۸- روشی ساده برای تحلیل سختی دیوارهای برشی دارای بازشو..... ۲۵

۲-۹- ارائه روابط تعیین سختی دیوار برشی دارای بازشو..... ۲۶

۲-۹-۱- دیوار برشی با بازشو در وسط طول دیوار و موقعیت عمودی متغیر..... ۳۰

۲-۹-۲- بازشوی وسط با عرض ثابت و ارتفاع متغیر..... ۳۱

۲-۹-۳- بازشوی وسط و نسبت ابعاد بازشوی متفاوت..... ۳۲

فصل سوم: مدل سازی اعضای بتن آرمه در نرم افزار ABAQUS..... ۳۴

۳-۱- مقدمه..... ۳۴

۳-۲- بررسی معیارهای پلاستیک بتن..... ۳۴

۳-۳- مفاهیم مورد نیاز برای تعیین سطح تسلیم بتن..... ۳۶

۳-۴- خصوصیات کلی سطح تسلیم بتن..... ۴۰

۳-۵- معرفی پارامترهای مورد نیاز برای تعریف ماده‌ی بتن در نرم افزار ۴۳
۳-۵-۱- پارامترهای پلاستیسیته..... ۴۴
۳-۵-۲- تابع پتانسیل جریان..... ۴۴
۳-۵-۳- تابع تسلیم در پلاستیسیته‌ی آسیب بتن..... ۴۶
۳-۵-۴- نمودار تنش-کرنش یک محوره..... ۴۸
۳-۵-۵- پارامترهای آسیب..... ۵۳
۳-۵-۶- ویسکوزیتی..... ۵۴
۳-۶- تعیین ابعاد شبکه بندی مناسب..... ۵۵
۳-۷- مدل سازی میلگردها..... ۵۵
۳-۸- مدل سازی شرایط مرزی و بار گذاری ۵۷
۳-۹- نوع حلگر و المان‌های مورد استفاده در نرم افزار ۵۸
۳-۱۰- بررسی جدا شدگی FRP..... ۵۸
۳-۱۰-۱- ضوابط آیین نامه‌ی ACI برای جلوگیری از وقوع جدا شدگی..... ۵۹
فصل چهارم: بررسی صحت مدل سازی اعضای بتن آرمه در نرم افزار آباکوس ۶۰
۴-۱- مقدمه ۶۰
۴-۲- مدل سازی تیر ساده بتنی..... ۶۱
۴-۲-۱- مقایسه‌ی نتایج تجربی با نتایج مدل نرم افزاری..... ۶۳
۴-۲-۲- آزمون همگرایی شبکه بندی..... ۶۵
۴-۲-۳- بررسی الگوی ترک خوردگی..... ۶۶
۴-۳- مدل سازی تیر ساده بتنی وتقویت آن با FRP..... ۶۶
۴-۳-۱- مقایسه‌ی نتایج تجربی با نتایج مدل نرم افزاری..... ۶۹
۴-۳-۲- بررسی الگوی ترک خوردگی..... ۷۱
۴-۴- مدل سازی دیوار برشی بدون بازشو..... ۷۱
۴-۴-۱- مقایسه‌ی نتایج تجربی با نتایج مدل نرم افزاری..... ۷۴
۴-۴-۲- بررسی الگوی ترک خوردگی..... ۷۵
۴-۵- مدل سازی دیوار برشی دارای بازشو..... ۷۶
۴-۵-۱- مقایسه‌ی نتایج تجربی با نتایج مدل نرم افزاری..... ۸۰

۴-۵-۲- بررسی الگوی ترک خوردگی ۸۰

فصل پنجم: ارائه‌ی برنامه‌ی تقویت دیوار برشی دارای بازشو با استفاده از پلیمر FRP ۸۳

۵-۱- مقدمه ۸۳

۵-۲- ضوابط طراحی دیوارهای برشی هم‌بسته و تیرهای هم‌بند بر اساس ACI-318 . ۸۳

۵-۲-۱- ضوابط ACI-318 برای تیرهای هم‌بند ۸۴

۵-۲-۲- ضوابط ACI-318 برای اجزای مرزی در دیوار برشی بتنی ویژه ۸۷

۵-۳- کنترل نقاط ضعف دیوار مورد مطالعه بر اساس ضوابط آیین نامه‌ی ACI-318 .. ۸۸

۵-۴- ارائه‌ی برنامه‌ی مقاوم سازی دیوار و بررسی نتایج ۸۹

۵-۴-۱- میلگرد گذاری دیوار بر اساس آیین نامه‌ی ACI-318 ..... ۸۹

۵-۴-۲- تقویت تیرهای هم‌بند با استفاده از نوارهای FRP ۹۱

۵-۴-۳- تقویت پایه‌های دیوار با استفاده از صفحات و نوارهای FRP ۹۷

۵-۴-۴- ترکیب حالت‌های موثر تقویت با پلیمر FRP ۱۰۳

۵-۵- اثر تغییرات ابعاد بازشو در رفتار دیوار برشی ۱۰۶

۵-۵-۲- اثر ارتفاع بازشو در رفتار دیوار برشی ۱۰۶

۵-۵-۳- اثر عرض بازشو در رفتار دیوار برشی ۱۰۸

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۱

۶-۱- جمع بندی ۱۱۱

۶-۲- نتایج ۱۱۲

۶-۳- پیشنهادات ۱۱۵

پیوست ۱ ..... ۱۱۷

منابع و مراجع ۱۳۲

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱ -مقاوم سازی با استفاده از الیاف CFRP قبل از ایجاد بازشو در دال به منظور عبور کانال تهویه، ناشی از تغییر کاربری ساختمان ۳

شکل ۲-۱ -الف)ایجاد بازشوی نامناسب ب)بازشوی زیگزاکی با فواصل مناسب..... ۱۵

شکل ۲-۲ -نمایی از دیوارهای برشی هم‌بسته..... ۱۸

شکل ۲-۳ -رفتار برشی دیوار هم‌بسته در مقایسه با دیوارهای مجزا..... ۱۹

شکل ۲-۴ -نمودارهای توزیع کرنش در دیوارهای برشی بازشو دار با درجه‌ی هم‌بستگی مختلف..... ۲۰

شکل ۲-۵ -تعریف درجه‌ی هم‌بستگی طبق آیین نامه‌ی کانادا..... ۲۱

شکل ۲-۶ -انواع تخریب‌های متداول در دیوارهای برشی ۲۳

شکل ۲-۷ -(A) شکست کششی و فشاری قطری (B) ترک‌های خمشی..... ۲۵

شکل ۲-۸ -تغییر شکل و خطوط تراز تنش برشی در A: دیوار یکپارچه B: دیوار دارای بازشو..... ۲۶

شکل ۲-۹ -مشخصات هندسی دیوار برشی بدون بازشو ۲۶

شکل ۲-۱۰ -تغییر شکل‌های دیوار برشی..... ۲۷

شکل ۲-۱۱ -رفتار تغییر شکل طره‌ای و دو سر گیر دار دیوار برشی..... ۲۸

شکل ۲-۱۲ -روش دستی برای یافتن تغییر مکان جانبی دیوار برشی دارای بازشو..... ۲۹

شکل ۲-۱۳ -دیوار برشی با بازشوی مربعی ۳۰

شکل ۲-۱۴ -دیواری با نسبت ابعاد بازشو به دیوار ۱۱٪ ۳۲

شکل ۳-۱ -نمودار تنش-کرنش بتن تحت تنش تک محوره A) کششی B) فشاری..... ۳۴

شکل ۳-۲ -فضای تنش‌های اصلی..... ۳۷

شکل ۳-۳ –صفحه‌ی انحرافی و مقطع عرضی یک نمونه از سطح گسیختگی..... ۳۸

شکل ۳-۴ –ویژگی‌های عمومی منحنی‌های نصف النهاری حاصل از نتایج آزمایشگاهی ۴۱

شکل ۳-۵ -سطح تسلیم ون مایسز ۴۲

شکل ۳-۶ -مقطع عرضی سطح تسلیم دراکر پراگر؛ ب)منحنی نصف النهاری سطح تسلیم دراکر پراگر ۴۳

شکل ۳-۷ -تابع پتانسیل جریان (الف) دارای خروج از مرکزیت (ب) بدون خروج از مرکزیت ۴۴

شکل ۳-۸ -سطح تسلیم در صفحه‌ی انحرافی، متناظر با مقادیر مختلف K_c ۴۷

شکل ۳-۹ -منحنی سطح گسیختگی بتن در حالت تنش صفحه‌ای ۴۸

شکل ۳-۱۰ -منحنی تنش- کرنش بتن در کشش ۵۱
شکل ۳-۱۱ -مدل پیشنهادی برای منحنی تنش–کرنش کششی بتن توسط نرم افزار ABAQUS ۵۲
شکل ۳-۱۲ –نحوه‌ی تاثیر پارامترهای آسیب ۵۴
شکل ۳-۱۳ –المان‌های جایگذاری شده در المان میزبان (● گره‌های المان میزبان، ○ گره‌های المان جایگذاری شده) ۵۷
شکل ۴-۱ -مشخصات هندسی و چیدمان آرماتورها در نمونه مدل سازی شده ۶۱
شکل ۴-۲ –نحوه‌ی شبکه بندی تیر در نرم افزار با حداکثر اندازه‌ی شبکه‌ی ۲۴ میلی متر برای بتن .. ۶۳
شکل ۴-۳ –نحوه‌ی شبکه بندی تیر در نرم افزار با حداکثر اندازه‌ی شبکه‌ی ۱۲ میلی متر برای بتن... ۶۳
شکل ۴-۴ -الگوی ترک خوردگی نهایی حاصل از نتایج آزمایشگاهی ۶۶
شکل ۴-۵ -الگوی ترک خوردگی نهایی حاصل از نتایج نرم افزار ۶۶
شکل ۴-۶ -مشخصات هندسی و چیدمان آرماتورها در نمونه‌ی مدل سازی شده ۶۷
شکل ۴-۷ –نحوه‌ی شبکه بندی تیر در نرم افزار با حداکثر اندازه‌ی شبکه‌ی ۵۰ میلی متر برای بتن... ۶۹
شکل ۴-۸ -نمایی از شبکه بندی آرماتورها و FRP در نرم افزار ۶۹
شکل ۴-۹ -کرنش نهایی ایجاد شده در FRP ۷۰
شکل ۴-۱۰ -الگوی ترک خوردگی نهایی حاصل از نتایج نرم افزار ۷۱
شکل ۴-۱۱ -جزئیات مقطع و آرماتورهای دیوار ۷۲
شکل ۴-۱۲ -دیوار مدل سازی شده در نرم افزار با حداکثر ابعاد شبکه‌ی ۱۳۰ میلی متر برای بتن..... ۷۳
شکل ۴-۱۳ -نمایی از الگوی ترک خوردگی دیوار و فونداسیون آن ۷۵
شکل ۴-۱۴ -الگوی ترک خوردگی نهایی حاصل از حل نرم افزار ۷۶
شکل ۴-۱۵ -مشخصات هندسی و چیدمان آرماتورها در دیوار و تیر همبند ۷۷
شکل ۴-۱۶ -مدل سازی آرماتورهای دیوار در نرم افزار ۷۹
شکل ۴-۱۷ -شبکه بندی دیوار با حداکثر اندازه‌ی شبکه‌ی بتن برابر با ۹۰ میلی متر ۷۹
شکل ۴-۱۸ -نمایی از ترک خوردگی و مود شکست نمونه‌ها ۸۱
شکل ۴-۱۹ -الگوی ترک خوردگی نهایی حاصل از حل نرم افزار ۸۲
شکل ۵-۱ -نمایی از آرماتور گذاری خرپایی تیر هم‌بند و مقطع عرضی آن ۸۴
شکل ۵-۲ -ضوابط فواصل میلگردگذاری در تیر هم‌بند مطابق آیین نامه‌ی ACI-318 ..... ۸۷
شکل ۵-۳ -مشخصات هندسی و چیدمان آرماتورهای تیر هم‌بند با میلگرد گذاری قطری مطابق ضوابط آیین نامه‌ی ACI-318 ..... ۸۹

شکل ۵-۴ -آرماتور گذاری ویژه در پایه‌ی دیوار (اجزای مرزی) مطابق ضوابط آیین نامه‌ی ACI-318 ۸۹
شکل ۵-۵ –روش‌های مقاوم سازی ارائه شده در اطراف بازشو با استفاده از ورقه‌های FRP..... ۹۳
شکل ۵-۶ –روش‌های مقاوم سازی ارائه شده در روی تیر هم‌بند با استفاده از ورقه‌های FRP..... ۹۵
شکل ۵-۷ –روش‌های مقاوم سازی ارائه شده در پایه‌های دیوار با استفاده از دورپیچ صفحات FRP... ۹۸
شکل ۵-۸ –روش‌های مقاوم سازی ارائه شده در پایه‌های دیوار با استفاده از دورپیچ نوارهای FRP... ۹۹
شکل ۵-۹ –روش‌های مقاوم سازی ارائه شده در پایه‌های دیوار با استفاده از دورپیچ نوارهای FRP ...۱۰۱
شکل ۵-۱۰ -نمایی از دیوار مدل سازی شده در آباکوس در حالت تقویت G4-0,45,90,450..... ۱۰۵
شکل ۵-۱۱ - نمایی از تغییرات کرنش در نوار مورب FRP در لبه‌ی بازشو و آغاز عبور کرنش از مقدار مجاز ۱/۵٪، همزمان با رسیدن مقاومت باربری جانبی دیوار به مقدار ۲۰۱ کیلو نیوتن..... ۱۰۵
شکل ۵-۱۲ -دیوارهای آزمایش شده توسط لو و چن با ارتفاع بازشوهای متفاوت ۱۰۶

فهرست نمودارها

نمودار ۲-۱ -توزیع نسبی تغییر شکل خمشی و برشی نسبت به کل تغییر شکل دیوار..... ۲۸

نمودار ۲-۲ -نسبت سختی دیوار با بازشو(در وسط طول دیوار و موقعیت عمودی متغیر) به دیوار بدون بازشو..... ۳۱

نمودار ۲-۴ -نسبت سختی دیوار با بازشو (بازشوی وسط و نسبت ابعاد بازشوی متفاوت) به دیوار بدون بازشو..... ۳۳

نمودار ۳-۱ -منحنی تنش-کرنش هاگنستاد اصلاح شده برای بتنی با مقاومت $f_c' = 35 MPa$ ۵۰

نمودار ۴-۱ -مقایسه‌ی نمودار بار تغییر مکان وسط دهانه‌ی تیر، حاصل از آزمایش و حل نرم افزار..... ۶۴

نمودار ۴-۲ -مقایسه‌ی نمودار بار تغییر مکان وسط دهانه‌ی تیر، حاصل از حل نرم افزار با دو اندازه‌ی شبکه‌ی متفاوت..... ۶۵

نمودار ۴-۳ -مقایسه‌ی نمودار بار تغییر مکان وسط دهانه‌ی تیر، حاصل از نتایج آزمایش و حل نرم افزار در دو حالت تقویت شده با **FRP** و بدون تقویت..... ۷۰

نمودار ۴-۴ -مقایسه‌ی نمودار تنش-کرنش دیوار، حاصل از نتایج آزمایش و حل نرم افزار..... ۷۴

نمودار ۴-۵ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار، حاصل از نتایج آزمایش و حل اجزای محدود به کمک نرم افزار..... ۸۰

نمودار ۵-۱ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در حالات مختلف میلگرد گذاری، حاصل از حل اجزای محدود به کمک نرم افزار..... ۹۰

نمودار ۵-۲ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در گروه ۱..... ۹۴

نمودار ۵-۳ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در گروه ۲..... ۹۶

نمودار ۵-۴ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در حالت تقویت با دور پیچ صفحات **FRP**..... ۹۹

نمودار ۵-۵ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در گروه ۳ در حالت تقویت تا ارتفاعی معادل ۴۵۰ میلی متر از پایین دیوار..... ۱۰۱

نمودار ۵-۶ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در گروه ۳ در حالت تقویت تا ارتفاعی معادل ۲۵۵۰ میلی متر از پایین دیوار..... ۱۰۲

نمودار ۵-۷ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار در گروه ۴..... ۱۰۴

نمودار ۵-۸ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار برشی با ابعاد متفاوت بازشو..... ۱۰۸

نمودار ۵-۹ -مقایسه‌ی نمودار بار-تغییر مکان دیوار برشی با ابعاد متفاوت بازشو..... ۱۰۹

فصل اول
تعریف مساله و مروری بر پژوهش‌های گذشته

۱-۱- مقدمه

دیوار برشی[1] سازه‌ای است که در برابر بارهای جانبی مقاومت می‌نماید. موقعیت قرار گیری دیوار برشی و نیازهای معماری و تاسیساتی، گاهی منظور نمودن بازشوهایی[2] به صورت مرتب در ارتفاع دیوار برشی (خصوصا در سازه‌های بلند دارای هسته مرکزی[3]) را الزامی و آن را به دو دیوار که توسط تیرهایی به نام "تیر هم‌بند[4]" در طبقات به یک دیگر متصل می شوند، تبدیل می-نماید. این دیوارهای برشی را دیوار برشی هم‌بسته[5] می‌نامند. وجود بازشو و افزایش ابعاد آن در دیوار برشی باعث افت شدید مقاومت برشی و خمشی دیوار و در نتیجه افزایش تغییر شکل-های جانبی و لنگرهای خمشی طراحی در دیوار می‌شود. همچنین تمرکز تنش در گوشه‌های بازشو باعث ترک خوردگی زود رس و شکست ترد برشی در این ناحیه می‌شود؛ تا جایی که رفتار دیوار از حالت عملکرد یکپارچه[6] به رفتار دو دیوار برشی هم‌بسته و در نهایت به عملکرد دو دیوار برشی مجزا و مجاور تبدیل می شود[۱]. در این حالت مجموع سختی دو دیوار مجزا از سختی ترکیبی دو دیوار هم‌بسته و سختی دیوار بدون بازشو به ترتیب کم‌تر است.

رفتار دیوارهای برشی هم‌بسته به طور مستقیم مرتبط با سختی، شکل پذیری و مقاومت تیر هم‌بند است. از آن‌جا که این تیرها نیروی برشی قابل توجهی را از یک دیوار به دیوار دیگر انتقال می‌دهند، تغییر شکل زیادی در آن‌ها به وقوع می‌پیوندد. تیرهای هم‌بند با انتقال برش و لنگر

[1] -Shear wall
[2] -Openings
[3] -Centeral Core
[4] -Coupled Beam
[5]- Coupled Shear Wall
[6] -Solid Performance

خمشی بین دو دیوار رفتار طره مانند دیوارهای برشی را به رفتار قاب خمشی نزدیک و تغییر شکل جانبی[1] آنرا به تغییر شکل برشی تبدیل می‌نمایند. در این میان سختی بیش از حد تیر هم‌بند رفتار دو دیوار هم‌بسته را از حالت قبلی خارج و به سمت رفتار طره مانند یک دیوار واحد میل می-دهد. برای اطمینان از عملکرد صحیح دیوارهای برشی هم‌بسته لازم است این تیرها شکل پذیری و قابلیت اتلاف انرژی[2] بالایی داشته باشند و بتوانند نیروهای برشی را به خوبی تحمل و انتقال دهند. تیرهای بتن‌آرمه‌ی قدیمی با آرایش آرماتور طولی و خاموت بندی عرضی[3] تحت بارهای لرزه‌ای دچار ترک‌های قطری[4] و شکست ناشی از برش می‌شوند. برای بهبود عملکرد این تیرها گزینه‌های متعددی پیشنهاد شده است:

تیرهای هم‌بند با آرماتوربندی قطری[5]

تیرهای هم‌بند فولادی[6]

استفاده از ژاکت فولادی[7] بر روی تیر هم‌بند

استفاده از صفحات پلیمری (FRP)[8] بر روی تیر هم‌بند.

امروزه پیشرفت علم و دانش، وجود وسایل آزمایشگاهی و رایانه‌های قدرتمند سبب توسعه و ارتقای دانش سازه‌ها در زمینه‌های مختلف و در نتیجه پیشرفت آیین نامه‌های ساختمانی موجود شده است. بنابراین ممکن است سازه‌هایی که بر اساس ویرایش قدیمی آیین نامه‌های موجود ساخته شده‌اند، مطابق با ویرایش‌های جدید نیاز به مقاوم سازی داشته باشند؛ همچنین ممکن است، به اجبار تغییراتی در وضعیت ساختمان ایجاد شود که سیستم سازه‌ای دچار ضعف و آسیب شود. به عنوان مثال، این تغییرات می‌تواند شامل ایجاد بازشو در سیستم سازه‌ای، تغییر کاربری ساختمان، آسیب‌های ناشی از زمین لرزه و غیره باشد. بنابراین مقاوم سازی سازه‌ها در شرایط فوق،

---

[1] -Lateral Deformation
[2] -Energy Dissipation
[3] -Transverse Reinforcement
[4] -Diagonal Cracks
[5] -Diagonal Reinforcement
[6] -Steel Coupled Beam
[7] -Steel Jacketing
[8] -Fiber Rienforced Polymer

با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، می‌تواند به عنوان راهکار مناسبی برای جبران ضعف سازه مورد استفاده قرار گیرد.

در دهه‌های اخیر الیاف پلیمری در مقاوم سازی تیر و ستون، برای تقویت مقاومت خمشی و برشی و حتی در مواردی برای تقویت مقاومت پیچشی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. امروزه استفاده از این الیاف در تقویت دیوارها و دال‌های بتنی موجود به دلیل وجود بازشو در آن‌ها نیز متداول شده است. صفحات پلیمری علاوه بر نصب آسان، نسبت مقاومت به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی و عدم تغییر در ابعاد دیوار و تیر، در کشش عملکرد مناسبی از خود نشان داده و مانع از ایجاد ترک‌های قطری و شکست ترد[1] در تیر هم‌بند می‌شوند. حتی در مواردی این الیاف به منظور تقویت دال و یا دیوار، قبل از ایجاد بازشو به کار می‌رود (شکل ۱-۱).

شکل ۱-۱-تقویت دال با استفاده از الیاف CFRP قبل از ایجاد بازشو، به منظور عبور کانال تهویه [۲]

بر خلاف انجام مطالعات بسیار بر روی رفتار دیوارهای برشی هم‌بند و روش‌های تحلیل و طراحی دیوار و تیر هم‌بند، تا کنون تحقیقات کمی در مورد روش‌های تقویت و مقاوم سازی این نوع دیوارها انجام شده است. اکثر این مطالعات بر روی نمونه‌های واقعی در آزمایشگاه انجام گرفته است که مستلزم صرف وقت و هزینه‌ی بسیار می‌باشد.

[1] -Brittle Failure

با توجه به مطالب بیان شده اهداف کلی این تحقیق به شرح زیر ارائه می‌گردد:

۱- آشنایی با تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی دیوار برشی دارای بازشو و روش‌های تقویت آن.

۲- تحقیق در مورد اثر ابعاد و موقعیت بازشو در رفتار دیوارهای برشی.

۳- مقاوم سازی دیوارهای برشی دارای بازشو که بر اساس ویرایش قدیمی آیین نامه‌های موجود ساخته شده‌اند و در برابر بارهای جانبی عملکرد مناسبی ندارند.

۴- بررسی امکان ایجاد بازشو در دیوارهای برشی، به منظور تامین نیازهای معماری و تاسیساتی در سازه، و تقویت آن با الیاف پلیمری به نحوی که رفتار و مقاومت دیوار به حالت قبل از ایجاد بازشو نزدیک گردد.

در مطالعه حاضر دیوارهای برشی هم‌بند با ابعاد بازشوهای متفاوت و بارگذاری یکنواخت به منظور اعمال روش‌های متفاوت مقاوم سازی با الیاف پلیمری، با استفاده از نرم افزار اجزای محدود با نام آباکوس[1] مورد بررسی عددی قرار گرفته‌اند. به طور خلاصه، در فصل اول این مجموعه برخی از مطالعات انجام گرفته بر روی دیوارهای دارای بازشو، تیرهای هم‌بند و تقویت آن‌ها مرور شده است. در فصل دوم، در خصوص نقش بازشو در رفتار دیوار برشی، دیوارهای بتنی هم‌بند و ویژگی-های آن، نحوه‌ی گسیسختگی این نوع دیوارها و همچنین تاثیر ابعاد و موقعیت بازشو در رفتار دیوار برشی، مطالبی بیان شده است. در فصل سوم رفتار غیر خطی بتن و نحوه‌ی معرفی و مدل سازی اعضای بتن آرمه در نرم افزار ABAQUS V.6.8 بررسی شده است و همچنین به توضیحات عمومی در مورد این نرم افزار پرداخته شده است. فصل چهارم در بردارنده‌ی نتایج بررسی‌های صحت مدل سازی در نرم افزار با استفاده از نمونه‌های آزمایشگاهی موجود می‌باشد. مراحل بررسی نیاز به تقویت دیوار بر اساس ضوابط آیین نامه‌ای، ارائه تکنیک‌های مقاوم سازی دیوار و تاثیر تغییر ابعاد و اندازه‌ی بازشوها در رفتار دیوار، در فصل پنجم ارائه شده است و در نهایت در فصل ششم به بحث و نتیجه‌گیری در مورد نتایج حاصل از تحلیل‌ها پرداخته شده است.

[1] -Abaqus

۱-۲- برخی از تحقیقات انجام شده

از نخستین مطالعات انجام گرفته بر روی دیوارهای برشی دارای بازشو تحلیل رفتار این دیوارها توسط پائولی[1] در سال ۱۹۷۰ بود. وی با بررسی رفتار نه نمونه‌ی آزمایشگاهی با آرماتور گذاری معمولی، بیان کرد که رفتار سازه‌ای تیر عمیق استفاده شده به عنوان تیر هم‌بند با رفتاری که طبق قاعده خمش مضاعف از آن‌ها انتظار می‌رود، متفاوت است و در صورت ناکافی بودن میلگردهای برشی شکست تیر بسیار ترد خواهد بود [۱]. وی همچنین با بررسی الگوی ترک خوردگی در نه نمونه‌ی آزمایشگاهی خود متوجه شد که تیر توسط بزرگ‌ترین ترک قطری ایجاد شده به دو ناحیه‌ی مثلثی تقسیم می‌شود و در صورتی که آرماتورهای عرضی ناکافی باشد جدا شدگی در امتداد قطر اصلی تیر رخ خواهد داد؛ از این رو با بررسی رفتار یک تیر طره‌ای مثلثی به این نتیجه رسید که شرایط تیر برنولی[2] در این مقطع رعایت نمی‌شود و به توسعه روابطی در مورد نیروی کششی ایجاد شده در آرماتورهای طولی تیر و روابطی برای تغییر شکل‌های تیر هم‌بند پرداخت [۳]. پس از آن، او با همکاری پارک[3] با تحقیق و توسعه‌ی روابط قبلی به این نتیجه رسید که در تیرهایی که دارای فولاد عرضی کمی هستند، تمامی آرماتورهای مقطع به کشش افتاده و در نتیجه آرماتورهای وجه فشاری تاثیری در افزایش شکل پذیری نخواهند داشت [۴].

مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی توسط پائولی[۲]، کابیاساوا[4] [۵] و والاس[5] [۶] بر روی دیوارهای برشی هم‌بسته روش‌های تکنیکی مناسب و ارزشمندی را برای طراحی و اجرای ساختمان‌های با دیوارهای برشی هم‌بسته ارائه داده است. این مطالعات نشان دادند که رفتار سازه-ای دیوارهای برشی هم‌بسته به مقدار زیادی تحت تاثیر سیستم هم‌بسته‌ی آنها قرار دارد که آن هم به هندسه و سختی تیرهای هم‌بند نسبت به سختی دیوارها بستگی دارد. دیوارهایی که تحت

[1] -Pauly
[2] -Bernoulli beam
[3] -Park
[4] -Snowbrich, White, pauley, Kabiasawa
[5] -Wallace

بارهای جانبی هستند بر اساس درجه‌ی هم‌بستگی[1] یعنی نسبت سختی تیر هم‌بند به دیوارها، طبقه بندی می‌شوند.

مصلحی و همکاران، روش ساده شده‌ای برای تحلیل صفحه‌ای دیوارهای دارای بازشو تحت بار جانبی با استفاده از روش‌های انرژی ارائه کردند. روش ایشان بر اساس جایگزینی دیوار دارای بازشو با یک صفحه ارتوتوروپیک معادل می‌باشد [۷]. در سال‌های بعد، تحلیل اجزای محدود[2] به منظور بررسی توزیع تنش در اطراف بازشوهای دیوار برشی توسط کاول و شی[3] صورت گرفت [۸].

در سال ۱۹۷۴، پائولی و بینی[4] برای اولین بار استفاده از آرماتور گذاری قطری را به منظور بهبود شکل پذیری تیرهای هم‌بند و دیوار هم‌بسته پیشنهاد نمودند و رابطه‌ای را برای محاسبه‌ی ظرفیت تیر با چشم پوشی از اثر میلگردهای طولی و عرضی ارائه دادند. آن‌ها با ساخت و آزمایش نمونه‌هایی از تیر هم‌بند با میلگرد گذاری قطری تحت بار سیکلی نشان دادند که این نمونه‌ها دارای ظرفیت جذب انرژی و شکل پذیری بالایی هستند و می‌توانند بوسیله‌ی پراکنده کردن و جذب انرژی[5] زلزله، رفتار انعطاف پذیری از خود نشان دهند و تنها ایراد آن می‌تواند ناشی از کمانش میلگردهای قطری باشد [۹].

در سال ۱۹۸۸ تگوس و پنلیس[6] ۲۴ نمونه تیر هم‌بند به ابعاد مقطع ۲۰×۲۰ و طول ۴۰ تا ۱۰۰ سانتی متر را مورد آزمایش قرار دادند. پارامترهای اصلی در آزمایش‌های ایشان نسبت ارتفاع مقطع تیر به دهانه و نسبت آرماتورهای برشی بود. در این مطالعه اثر صورت‌های دیگری از آرماتور گذاری داخل تیر ، مانند آرماتورهای لوزی شکل را در شکل پذیری تیر مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این نوع میلگرد سبب افزایش شکل پذیری و بهبود رفتار هیستریزیس[7] تیر می‌شود [۱۰]. در این زمینه تاسیوس و همکاران[8] نیز با آزمایش ده نمونه متفاوت از تیرهای هم‌بند با الگوهای مختلف میلگرد گذاری از جمله الگوهای قطری شکل، لوزی شکل، طولی معمولی

[1] -Coupling Deegree
[2] -FE (Finite Element)
[3] -Coull & Chee
[4] -Binney
[5] -Absorbtion & Dissipation of Energy
[6] -Tegos & Penelis
[7] - Historisist
[8] -Tassios et.al.

و آرماتورهای کوتاه افقی در لبه‌ی اتصال تیر به دیوار، به بررسی کارآیی آنها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که الگوی قطری و بعد از آن الگوی لوزی شکل بیش‌ترین کارآیی را در بهبود رفتار تیر هم‌بند دارند و هر چه نسبت طول تیر به ارتفاع مقطع آن کم‌تر باشد، اثر آن‌ها بیش‌تر مشهود می‌باشد [۱۱]. گالانو و ویگنولی[1]، با آزمایش ۱۵ نمونه تیر هم‌بند با الگوهای آرماتور گذاری متفاوت و در حالت بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای به نتایج مشابهی نظیر محققین قبلی در مورد میلگرد گذاری قطری و لوزی شکل دست یافتند با این تفاوت که آنان اثر تنگ‌های قطری را نیز بر کارآیی میلگردهای قطری مورد بررسی قرار دادند. بر اساس مطالعات ایشان نمونه‌های با آرماتور گذاری لوزی شکل در مقایسه با آرماتور گذاری قطری مقاومت کمتری را به ازای یک نسبت ثابت آرماتورهای مورب نتیجه می‌دهند [۱۲].

در سال ۱۹۹۱ سوبدی یک روش ساده برای به دست آوردن مقاومت تیرهای هم‌بند و مقاومت نهایی دیوار دارای بازشو ارائه نمود که در این روش مقاومت خمشی تیر تنها بر اساس ظرفیت کششی آرماتورهای اصلی و بدون احتساب مقاومت بتن حاصل می‌شود و در محاسبه ظرفیت برشی تیر، مقاومت برشی آرماتورهای طولی و عرضی و همچنین مقاومت کششی بتن منظور شده است. این روش برای پیش بینی مدهای شکست دیوار نیز قابل استفاده می‌باشد [۱۳].

در سال ۱۹۹۳، علاوه بر الگوهای مختلف آرماتور گذاری در تیر هم‌بند که در سال‌های قبلی به طور قابل توجهی مورد توجه قرار داشت، مطالعه بر روی استفاده از تیرهای فولادی و ترکیب آن با بتن نیز در بین محققین جایگاه مناسبی پیدا کرد. این دیوارها که تحت عنوان دیوارهای هم-بسته‌ی مرکب[2] شناخته می‌شوند، دارای قابلیت جذب انرژی مناسبی می‌باشند؛ ولی دارای مشکلاتی نظیر نحوه‌ی اتصال تیر به دیوار می‌باشند. در این زمینه محققانی همچون شهروز و همکاران [۱۴] و همچنین هریس و همکاران [۱۵]، مطالعات ارزشمندی را انجام داده‌اند.

[1] -Galano & Vignoli
[2] -Hybrid Coupled Walls

اثر درجه‌ی همبستگی بر روی دوره تناوب اصلی دیوارهای برشی بازشو دار را چلال و همکاران[1] در سال ۱۹۹۶ بررسی کردند. بر اساس تحقیقات ایشان، وقتی که درجه‌ی همبستگی زیاد می‌شود دوره تناوب اصلی کاهش می‌یابد. آنان همچنین با تحلیل اجزای محدود تعداد زیادی دیوار برشی هم‌بسته با اندازه‌ی بازشوهای متفاوت، موفق به توسعه روابطی برای ارزیابی درجه‌ی همبستگی دیوار شدند که این روابط از هم‌بستگی رگرسیون آماری بین درجه‌ی هم‌بستگی و مشخصات هندسی دیوارهای برشی هم‌بسته به دست آمده است. [۱۶].

لیندبرگ و برادر[2] در سال ۲۰۰۰، مطالعات خود را در زمینه تاثیر ابعاد بازشو و موقعیت آن در رفتار دیوار برشی دارای بازشو، با استفاده از حل اجزای محدود توسط نرم افزار متلب[3] به انجام رسانیدند و به این نتیجه رسیدند که کاهش سختی دیوار به شدت به نسبت ابعاد بازشو بستگی دارد [۱۷]. در سال‌های بعد، نئونهوفر[4] به ارائه روش ساده‌ای برای تحلیل دیوار برشی دارای بازشو مبادرت نمود و نتیجه کار خود را با با نتایج لیندبرگ مقایسه نمود [۱۸]. نسبت مساحت بازشو به مساحت دیوار در اکثر نمونه‌های وی برابر با ۰/۱۱ می‌باشد. همچنین، نسبت ارتفاع به عرض بازشو و ارتفاع به عرض دیوار در این نمونه‌ها مساوی در نظر گرفته شده است. روش وی بر خلاف سادگی بسیار، در تحلیل برخی از حالات قرار گیری بازشو در دیوار، از دقت مناسبی برخوردار نمی‌باشد.

پائولی در سال ۲۰۰۱ با فرض یک مدل کشسان-مومسان کامل[5]، روابطی را برای محاسبه‌ی جابجایی بعد از تسلیم در تیر هم‌بند با آرماتور گذاری معمولی و قطری و به منظور بررسی شکل پذیری آن ارائه داد [۱۹]. وی جابجایی تسلیم تیر هم‌بند با میلگرد گذاری معمولی را با توجه به کرنش تسلیم آرماتورهای طولی به دست آورد.

خائو و همکاران[6] در سال ۲۰۰۴ برای اولین بار موفق به ارائه رابطه‌ای برای محاسبه‌ی بار-تغییر مکان تیر با میلگرد گذاری ساده شدند. آن‌ها برای ارائه‌ی این رابطه از یک مدل اجزای

[1] -Chaalal & et al.1995
[2] -Lindeburg and Baradar
[3] - Matlab
[4] - Neuenhofer
[5] -Perfect Elasto-Plastic
[6] -Zhao et.al.